Centre de conservation
du Québec

Sauvegarde des monuments de bronze

Québec

Le contenu de cette publication
a été préparé par le Centre de conservation du Québec.

Cette édition a été réalisée
par la Direction des communications.

Rédaction : Jérôme-René Morissette
Illustrations : Danielle Filion
Conception de la couverture : Chantal Audet
Photographie de la couverture : Jérôme-René Morissette, Angelot d'André Vermare, 1923 (détail du monument Taschereau)

1re édition : 2e trimestre 1988
2e édition : 1er trimestre 1992
3e édition : 2e trimestre 1997

Dépôt légal : 1997
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN : 2-550-31691-6
© Ministère de la Culture et des Communications, 1997

101-06281/

«Vous traversez une grande ville vieillie dans la civilisation, une de celles qui contiennent les archives les plus importantes de la vie universelle, et vos yeux sont tirés en haut ; car sur les places publiques, aux angles des carrefours, des personnages immobiles, plus grands que ceux qui passent à leurs pieds, vous racontent dans un langage muet les pompeuses légendes de la gloire, de la guerre, de la science et du martyre.»

C. Baudelaire

Table des matières

Introduction 7

La nature du bronze 8

La patine d'un monument 9
- Les principaux produits de corrosion identifiables sur la surface d'un monument de bronze 10

Les polluants atmosphériques gazeux 11
- Le sulfure d'hydrogène 11
- Le dioxyde de soufre 11
- Les gaz halogènes 14

Les polluants atmosphériques solides 15
- Les particules porteuses de sulfates 15
- Les particules porteuses de chlorures 16
- Les particules abrasives 16
- Les autres dépôts 17

Le mécanisme de la corrosion 18

Les facteurs influençant le mécanisme de la corrosion 20
- Les facteurs extérieurs au monument 20
- Les facteurs inhérents au monument 21

Restaurer ou ne pas restaurer 22

Avant toute intervention 23

Les interventions possibles 24

Le vandalisme 27

Conclusion 29

Lexique 31

Références 34

Bibliographie 35

Introduction

Par son industrialisation effrénée, le XX[e] siècle aura été responsable de la lente et sournoise altération de notre atmosphère. Des monuments qu'on avait dressés pour l'éternité voient aujourd'hui leur surface attaquée et leurs entrailles minées.

Signalé il y a plus d'un siècle à Berlin[1], le phénomène avait alors été qualifié de naturel et l'investigation n'avait pas eu de lendemain. Mais plus récemment, la détérioration de monuments célèbres comme la statue de Marc Aurèle à Rome, les chevaux de la basilique Saint-Marc à Venise et la statue de la Liberté à New York a retenu l'attention des spécialistes du monde entier et sensibilisé la population à l'importance de garantir leur sauvegarde.

La présente brochure a été conçue à l'intention des organismes dépositaires de monuments de bronze exposés en plein air, qui sont désireux d'en assurer la conservation. Bien qu'elle permette d'identifier les polluants responsables de la dégradation des bronzes extérieurs et de comprendre les mécanismes de corrosion qu'ils enclenchent, on ne doit surtout pas s'attendre à y trouver des scénarios détaillés de traitement, car son objectif premier est de favoriser avant tout la réflexion sur d'éventuelles interventions.

La nature du bronze

Le bronze est un alliage.

Un alliage est constitué d'un mélange plus ou moins homogène de deux ou de plusieurs métaux dans des proportions rarement égales. L'alliage peut être binaire (2 métaux), ternaire (3 métaux), quaternaire (4 métaux), etc.

Les bronzes de l'Antiquité étaient essentiellement des alliages binaires (cuivre/étain) obtenus par *réduction* simultanée de minerais de cuivre et de minerais d'étain.

Les bronzes «modernes» sont plutôt ternaires (cuivre/étain/plomb), souvent quaternaires (cuivre/étain/plomb/zinc).

En ajoutant des métaux à l'alliage, on modifie ses propriétés physiques ou chimiques ; c'est ainsi que l'addition de plomb facilitera la coulée du bronze et que l'addition d'étain augmentera sa résistance à la corrosion.

La patine d'un monument

Il semble impossible de donner une définition précise de la patine d'un monument.

La formation de la patine associée au vieillissement de la matière sera pour certains ce qui ajoute de la valeur à l'œuvre ; pour d'autres ce sera un signe évident de sa dégradation, tandis que pour d'autres encore, ce sera une enveloppe protectrice pour le monument.

Disserter sur la patine, c'est aborder un domaine des plus subjectifs ; c'est à coup sûr déconcerter ceux qui croient que les monuments de bronze naissent avec une peau verte, et vouloir la définir, c'est souvent briser certains envols poétiques qui chantent la beauté verdâtre des statues, qui louangent l'œuvre du temps.

Au premier siècle de notre ère, Pline l'Ancien, dans son encyclopédie *Historia Naturalis*, faisait déjà une distinction entre la patine noble «aerugo nobilis» et la vile patine «virus aerugo».

Si certaines patines artificielles, esthétiques, colorées et relativement stables peuvent se retrouver sur la plupart des bronzes exposés dans les musées, il s'avère improbable d'en rencontrer sur la surface des monuments exposés en milieu urbain, où l'environnement, loin d'être contrôlé, se fait de jour en jour plus menaçant.

Considéré objectivement, il devient évident que la patine verdâtre d'un monument ne joue plus et je jouera jamais plus un rôle de protection, car il s'agit de produits de corrosion dont l'activité pourrait être qualifiée de plus ou moins stable. Les polluants atmosphériques qui se sont ajoutés à notre environnement au cours des dernières décennies ont accéléré ce qui, jusqu'alors, avait été une lente dégradation.

Les principaux produits de corrosion identifiables sur la surface d'un monument de bronze

Cuprite	Cu_2O	rougeâtre
Ténorite	CuO	noirâtre
Atacamite	$CuCl_2.3Cu(OH)_2$	verdâtre
Paratacamite	$CuCl_2.3Cu(OH)_2$	verdâtre
Nantokite	$CuCl$	grisâtre
Brochantite	$CuSO_4.3Cu(OH)_2$	verdâtre
Antlérite	$CuSO_4.2Cu(OH)_2$	verdâtre
Chalcocite	Cu_2S	grisâtre
Covellite	CuS	noirâtre
Cassitérite	SnO_2	blanc grisâtre
Romarchite	SnO	bleu noirâtre
Cérussite	$PbCO_3$	blanchâtre
Hydrocerussite	$Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$	blanchâtre
Anglésite	$PbSO_4$	blanchâtre
Zincite	ZnO	blanchâtre

Les polluants atmosphériques gazeux

Parmi tous les polluants gazeux de l'atmosphère, ce sont surtout les produits sulfureux qui semblent avoir un effet néfaste sur les monuments de bronze.

Le sulfure d'hydrogène

Un premier produit sulfureux, le sulfure d'hydrogène (H_2S), qui provient principalement des papeteries, est immanquablement détecté par son odeur d'oeufs pourris, et fort heureusement, car il s'agit d'un gaz extrêmement toxique (1 volume de sulfure d'hydrogène pour 200 volumes d'air peut être fatal).

Brûlé dans l'air, le sulfure d'hydrogène (H_2S) donnera de la vapeur d'eau et du dioxyde de soufre (SO_2).

$$2\,H_2S + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,H_2O + 2\,SO_2$$

Le sulfure d'hydrogène et le dioxyde de soufre, en se combinant, entraîneront la formation graduelle de dépôts de soufre.

$$2\,H_2S + SO_2 \longrightarrow 2\,H_2O + 3\,S \downarrow$$

Les mêmes précipitations de soufre seront obtenues par l'action de l'oxygène sur une solution aqueuse de sulfure d'hydrogène.

$$2\,H_2S + O_2 \longrightarrow 2\,H_2O + 2\,S \downarrow$$

Émis dans l'atmosphère, le sulfure d'hydrogène (H_2S) entraîne la formation de soufre solide et de dioxyde de soufre. Il aura, en présence d'humidité, une action corrosive sur la surface des monuments de bronze.

Le dioxyde de soufre

Un second produit sulfureux, le dioxyde de soufre (SO_2), qui jadis provenait en majeure partie de la combustion du charbon, a de nos jours comme sources principales certaines fonderies de métaux non ferreux utilisant le procédé de *pyrométallurgie* et la combustion de produits dérivés du pétrole.

Le dioxyde de soufre, un gaz très soluble dans l'eau (4 000 volumes de SO_2 pour 100 volumes d'eau), se combine donc très facilement aux vapeurs d'eau de l'atmosphère et forme des acides capables de s'attaquer directement au métal.

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$$

L'acide sulfureux (H_2SO_3) se transforme rapidement en acide sulfurique (H_2SO_4).

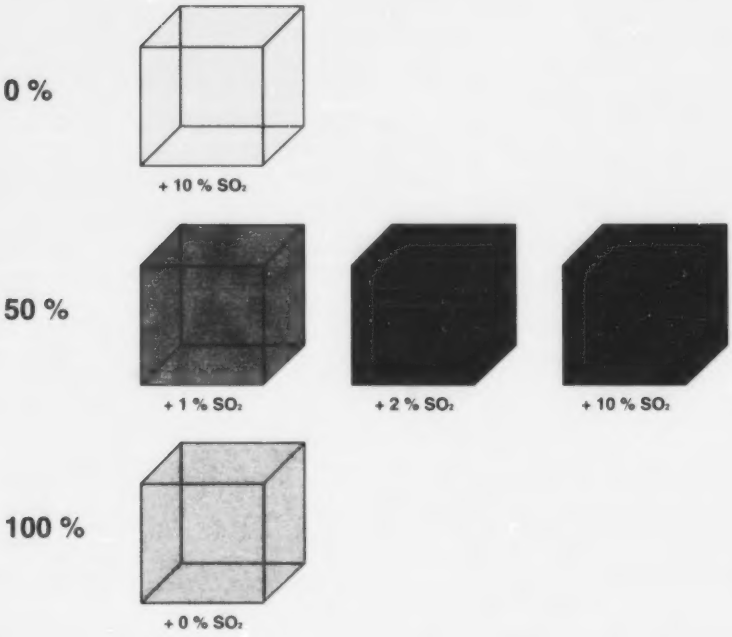
$$2\ H_2SO_3 + O_2 \longrightarrow 2\ H_2SO_4$$

Le cuivre, attaqué par l'acide sulfurique, donnera des sulfates solubles et produira d'autres quantités de dioxyde de soufre.

$$Cu + 2\ H_2SO_4 \longrightarrow Cu\ SO_4 + 2\ H_2O + SO_2$$

En 1980, le Service canadien de la protection de l'environnement estimait à 4,77 millions de tonnes les émissions de dioxyde de soufre au pays[2]. Quant à la production mondiale de dioxyde de soufre, elle s'élevait à près de 70 millions de tonnes pour la même année[3]. Rien ne laisse présager qu'il y aura diminution de la production de SO_2 au cours des prochaines décennies.

Schéma indiquant l'action évidente du SO_2 sur le cuivre en présence d'un minimum d'humidité (H.R.) [4]



Les gaz halogènes

Ces gaz dits *halogènes* : le fluor (F_2), le chlore (Cl_2), le brome (Br_2) et l'iode (I_2) sont beaucoup trop actifs pour que l'on puisse les retrouver à l'état pur dans l'atmosphère. En se combinant à d'autres corps, ils formeront des acides et des sels.

Le chlore, le plus abondant de ces gaz, provient principalement de l'industrie du textile et du papier où il est utilisé comme agent de blanchiment. Ses sels combinés à d'autres polluants atmosphériques participeront à la dégradation du bronze car les chlorures qu'ils contiennent se transforment progressivement en acide chlorhydrique.

Il est à noter cependant qu'à proximité de la mer, qui contient environ 2 % de chlore sous forme d'ions Cl-, les monuments de bronze se couvrent de sulfates (brochantite/antlérite) et non pas de chlorures, comme il aurait été logique de le présumer. Les récents travaux de restauration effectués sur la statue de la Liberté à New York ont confirmé ce phénomène.

Les polluants atmosphériques solides

Parmi les polluants solides que l'on retrouve en milieu urbain, il y a ceux qui, dans certaines conditions d'humidité ou lorsqu'ils sont combinés à d'autres polluants, ont une action chimique sur la patine ou le métal de l'œuvre et ceux qui ont une action purement abrasive sur la surface du monument ; mais tous, par leur propriété *hygroscopique*, entraînent, en se déposant sur la surface métallique, la formation d'une pellicule d'eau (*électrolyte*) qui favorise le processus de corrosion.

Les particules porteuses de sulfates

Lorsqu'on connaît l'effet corrosif des gaz sulfureux (SO_2 et H_2S) sur le bronze, il apparaît évident que les particules porteuses de sulfates contribueront tout autant à la dégradation du métal.

Principales particules porteuses de sulfates décelées en milieu urbain [5] :

H_2SO_4	acide sulfurique
NH_4HSO_4	
$(NH_4)_3H(SO_4)_2$	sulfates d'ammonium
$(NH_4)_2SO_4$	
$MgSO_4$	sulfate de magnésium
$CaSO_4$	sulfate de calcium
Na_2SO_4	sulfate de sodium
$ZnSO_4$	sulfate de zinc

La plupart de ces sels sont solubles (sauf le sulfate de calcium), ce qui signifie qu'en se combinant à l'eau, ils viendront «nourrir» l'électrolyte et que, porteurs d'un *radical* SO_4, quelques-uns d'entre eux pourront, dans certaines conditions, se transformer progressivement en acide.

Les particules porteuses de chlorures

De ces particules, les plus fréquemment décelées sont le chlorure de sodium (NaCl) et le chlorure de potassium (KCl).

Le premier, un important composé chimique, est extrait directement d'immenses bancs à ciel ouvert ou est recueilli par évaporation de l'eau de mer. Il s'agit d'un produit abondamment employé dans les industries.

Le second provient également de bancs et est principalement employé comme engrais.

Ces sels, combinés à d'autres polluants et, notamment, aux particules porteuses de sulfates, formeront d'autres sels et parfois même des acides[6].

$2\,NaCl$	+	H_2SO_4	⟶	$2HCl$	+	Na_2SO_4
chlorure de sodium		acide sulfurique		acide chlorhydrique		sulfate de sodium

Les sels ainsi formés viendront eux aussi «nourrir» l'électrolyte en s'additionnant aux nombreux produits déjà présents sur la surface du monument.

Les particules abrasives

Toute particule solide est en fait abrasive, mais certaines comme l'alumine (Al_2O_3) et le silice (SiO_2) sont particulièrement dures (respectivement 9 et 7 sur *l'échelle de Mohs*) et, poussées par des rafales de vent, elles viendront user la patine des monuments, et le métal ainsi mis à nu sera rapidement corrodé.

L'abrasion de la patine est un phénomène observé sur de nombreux monuments trop facilement accessibles qui invitent à l'escalade, entre autres pour jouer le rôle de figurants silencieux sur une photographie de voyage.

Les particules abrasives, bien que ne réagissant pas chimiquement avec d'autres polluants, avec la patine ou avec le métal, vont par ailleurs former des milieux hygroscopiques en se déposant dans les replis de la sculpture.

Les autres dépôts

La fiente des pigeons, insulte universelle faite à nos statues, contient des nitrates, principalement des nitrates de sodium ($NaNO_3$). Ce sel très soluble dans l'eau permet la formation progressive d'acide nitrique (HNO_3) qui s'attaque directement au métal.

La présence de nitrate de cuivre ($Cu_2(OH)_3NO_3$) a été décelée sur la Porte du Paradis du Baptistère du Duomo de Florence[7], ce qui pourrait confirmer le rôle de l'acide nitrique dans la dégradation du bronze.

La suie, autre dépôt que l'on trouve sur la surface des monuments, est une matière inerte qui ne réagit pas chimiquement avec le métal ni avec sa patine ; son pouvoir hygroscopique favorise cependant la formation d'une pellicule d'eau sur la surface métallique.

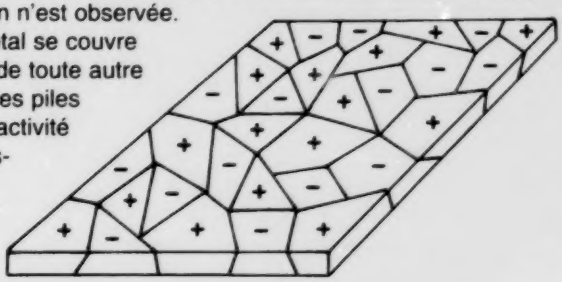
Le mécanisme de la corrosion

La corrosion observée sur la surface des monuments de bronze n'est pas seulement une attaque chimique, mais une combinaison de phénomènes chimiques et électrochimiques.

Les polluants gazeux de l'atmosphère, combinés à la vapeur d'eau et à l'oxygène, forment des acides qui, par leur action directe sur le métal ou par réaction avec d'autres polluants, produisent des sels (sulfures/sulfates/chlorures).

Ces sels, sur la surface mouillée du monument, vont donner lieu à une activité électrochimique.

Toute surface métallique est constituée d'un ensemble *d'électrodes* en court-circuit. Sur une surface sèche, les courants locaux ne passent pas et aucune corrosion n'est observée. Mais lorsque le métal se couvre d'un film d'eau ou de toute autre solution aqueuse, les piles locales entrent en activité et le métal se transforme graduellement en produits de corrosion.

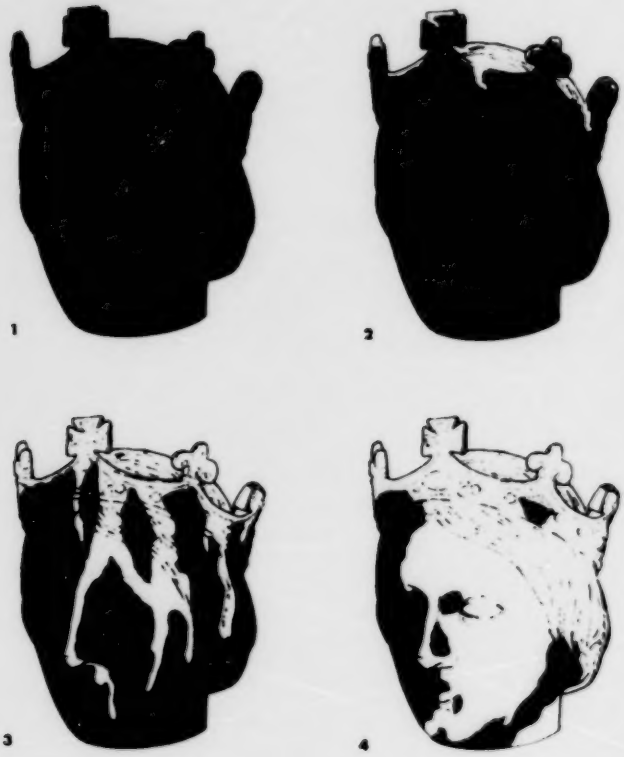


La surface du monument, transformée en un immense réseau de *piles galvaniques*, se couvrira alors de taches vertes (de charge négative, majoritairement formées de sulfates) et de taches noires (de charge positive).

Des *potentiels d'électrode* de 100 mV ont été enregistrés pour les taches noires et des potentiels variant de - 100 à - 180 mV pour les taches vertes[8].

Cette différence entre les potentiels sous-entend que les plus importantes pertes de métal seront observées sous les taches vertes, car dans le cas des métaux, c'est à *l'anode* que se produit habituellement la corrosion ; dans les piles galvaniques, *l'anode* est le pôle négatif et la *cathode*, le pôle positif.

Schéma illustrant la dégradation progressive (perte de lisibilité) d'une sculpture



Reine Victoria (1872), par Marshall Wood

Les facteurs influençant le mécanisme de la corrosion

Une surface dénaturée par des taches et des stries est le lot de la plupart des monuments de nos villes, et c'est souvent cet aspect inesthétique des plus notables qui semble déclencher l'alerte face à la dégradation des sculptures de bronze exposées en plein air.

Bien que cette manifestation de la corrosion soit évidente et généralisée, les effets du mécanisme de corrosion varient beaucoup d'un monument à l'autre et tiennent à des facteurs extérieurs et incontrôlables et à des facteurs inhérents à la sculpture qui peuvent parfois se corriger.

Les facteurs extérieurs au monument

Le plus important et le plus incontrôlable des facteurs extérieurs est l'environnement qui, malgré les efforts de certains responsables et malgré certains succès localisés en matière de dépollution, joue un rôle de premier ordre dans la dégradation des monuments.

Des tests ont déterminé qu'en milieu rural, le bronze se corrode à raison de $3g/m^2/an$ et que, dans un environnement industriel, cette corrosion atteint $14g/m^2/an$[9].

Bien que la brochantite demeure le principal produit de corrosion relevé sur les monuments de bronze placés à l'extérieur, la présence d'antlérite est de plus en plus signalée ; elle ne serait pas étrangère à l'acidité de nos précipitations.

$$\underset{CuSO_4.3\,Cu(OH)_2}{\text{Brochantite}} \xrightarrow{\text{pH 4}} \underset{CuSO_4.2\,Cu(OH)_2}{\text{Antlérite}}$$

La fréquence des précipitations (pluie, neige) est un autre facteur qui affecte l'apparence d'un monument par un lavage répété de sa surface. Les précipitations ont en fait une double action car, si elles éliminent certains sels solubles et certains dépôts, elles véhiculent aussi des polluants.

La formation de tavelures sur la surface des monuments est une conséquence des précipitations ; car les stries observées sont formées de sulfates solubles qui, en dégoulinant, se transforment progressivement en sulfates insolubles (bronchantite/antlérite).

L'orientation du monument a, elle aussi, une incidence sur la dégradation de sa surface. Les vents dominants entraînent la pluie, la neige, la grêle, qui s'abattent régulièrement sur une des faces de la sculpture et viennent ainsi la poncer par l'effet des particules abrasives qu'ils charrient.

Les arbres à proximité du monument peuvent aussi participer à sa dégradation ; les excréments des oiseaux viendront le souiller et des résines végétales viendront l'engommer.

De plus, le couvert des arbres fait en sorte que les périodes d'ensoleillement sont plus courtes, d'où un assèchement partiel de la surface du monument.

Les facteurs inhérents au monument

Parmi les facteurs inhérents au monument, il y a, bien sûr, la composition de l'alliage qui influence grandement l'évolution du processus de corrosion.

Un bronze riche en étain sera plus résistant à la corrosion ; ainsi le bronze des cloches, qui en contient parfois jusqu'à 20 %, est beaucoup plus lent à se corroder que le bronze des statues, qui ne contient que de 5 à 10 % d'étain.

L'homogénéité de l'alliage a aussi une influence sur la formation des produits de corrosion. L'addition de plomb à l'alliage provoque parfois la formation de globules qui réagissent différemment aux polluants.

Des impuretés dans le métal même le rendent plus vulnérable. Les poches de gaz qui peuvent se former lors de la coulée en feront un métal poreux. Parfois, des parcelles de matériaux servant à la confection du moule ou du noyau (sable, argile, plâtre, etc.) se détachent lors de la coulée du métal en fusion, créant ainsi des creux et des fissures qui seront autant de points faibles pour la sculpture.

D'autres impuretés souvent observées sur la surface des monuments en bronze sont attribuables aux *étais* et se manifestent par des produits de corrosion associés au fer.

Les formes que l'artiste aura données à son œuvre seront, dans certains cas, une des causes de sa dégradation. C'est ainsi que certains replis permettront l'accumulation de la pluie et de la neige qui offriront au processus de corrosion le milieu humide dont il a besoin.

Enfin, toutes ces mixtures plus ou moins secrètes employées pour créer artificiellement une patine sur la surface de la sculpture participeront aussi à sa dégradation. Ces sulfures ou sulfates, ces chlorures ou nitrates, ces acides seront les premiers à engendrer le processus de corrosion sur la surface du monument.

Restaurer ou ne pas restaurer

«Être ou ne pas être, voilà la question», s'interrogeait Hamlet dans le célèbre drame de Shakespeare.

Restaurer ou ne pas restaurer, voilà la question qu'il faut se poser et à laquelle il faut répondre devant chaque monument de bronze de nos villes.

Dans bien des cas, la réponse donnée sera déterminante pour la survie de l'œuvre. Une réponse négative signifie que l'œuvre est condamnée à mourir de sa «belle» mort et une réponse positive sous-entend que l'œuvre recevra tous les traitements que son état nécessite et qui garantiront sa sauvegarde.

Il faut aussi que les objectifs de l'intervention soient clairement exprimés et ce, dès le début du projet, afin que le vocabulaire soit le même pour chacun des intervenants.

L'expression «nettoyer le monument» est insuffisante et imprécise, car plusieurs types de nettoyage sont possibles pour la surface dégradée d'un monument de bronze. Dans certains cas, la restauration pourra aller jusqu'à l'état original ; dans d'autres cas, les traitements amélioreront l'esthétique de la surface et parfois, ils se limiteront à une stabilisation de la sculpture dans son état actuel...

Il faut préciser qu'il n'est pas toujours possible de remettre un monument à son état original, surtout lorsque la surface est sévèrement attaquée par la corrosion. Dans bien des cas aussi, cette restauration à l'état original n'est pas souhaitable, car les risques d'interprétation douteuse sur le plan esthétique sont considérables.

Mieux vaut ne pas restaurer que de restaurer de façon inconsidérée.

Avant toute intervention

Avant toute intervention, il est judicieux d'établir une documentation historique qui permettra d'en connaître davantage sur l'aspect original de l'œuvre (patine, éléments mobiles, etc.), sur les événements qui auraient pu en modifier l'aspect (actes de vandalisme, restaurations antérieures, déplacements, etc.), sur les intentions de l'artiste à l'égard de son œuvre (vieillissement naturel souhaité, entretien prévu, etc.).

Cette documentation, faite d'articles de journaux, de contrats, de plans, de devis, de photographies anciennes, permettra de cerner le passé du monument.

Avant toute intervention, on devra effectuer une évaluation complète de l'état actuel du monument ; évaluation qui permettra de s'en faire une idée juste et qui suppose des analyses de l'alliage, des analyses de la patine, des données quantitatives et qualitatives concernant l'environnement, les dimensions de l'œuvre, son orientation, le relevé complet des fissures, de la porosité, des déformations mécaniques..., le tout accompagné bien sûr de photographies de l'ensemble et de certains détails.

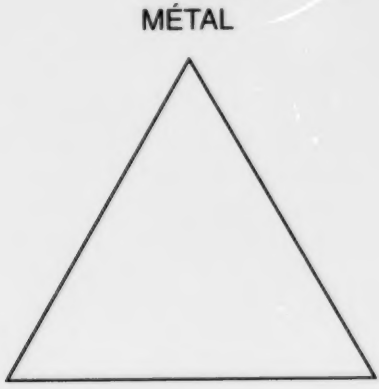
Avant toute intervention, il faudra à nouveau se demander si l'évaluation faite de l'état actuel de l'œuvre en comparaison de son état original justifie le traitement, car la restauration doit se faire par nécessité et non pas pour le bon plaisir d'un individu ou d'un groupe d'individus.

Avant toute intervention, le ou les scénarios de traitement envisagés pour le monument seront eux-mêmes évalués et ce, en fonction des modifications visuelles qui pourront en découler (une sculpture verdâtre qui deviendrait noire du jour au lendemain pourrait surprendre), en fonction aussi de l'entretien ultérieur qui sera accordé au monument (ne pas entretenir une sculpture restaurée, c'est un peu comme consulter un médecin et refuser de prendre les médicaments qu'il prescrit), en fonction aussi des coûts et de la main-d'œuvre que cela nécessitera.

Les interventions possibles

Bien qu'il soit tout naturel pour le métal de vouloir retrouver son aspect d'origine, soit celui de minerai, il est tout de même possible de ralentir le processus de dégradation.

La dégradation des monuments de bronze exposés en plein air pourrait se schématiser par un triangle à l'intérieur duquel se joue le sort de l'œuvre.



Le processus de dégradation pourra être freiné si l'on isole ces trois éléments les uns des autres.

Puisqu'il est impensable d'éliminer l'eau de notre atmosphère terrestre et puisqu'il semble tout aussi utopique d'annihiler les émissions de polluants dans nos milieux urbains, deux scénarios seront possibles pour sauvegarder nos monuments de bronze.

Un premier scénario consiste à installer l'œuvre dans l'environnement contrôlé d'un musée ou d'une réserve et à la remplacer ou non par une copie fidèle et invulnérable.

Un second scénario consiste à laisser l'œuvre à l'extérieur mais à lui procurer par contre un bouclier qui l'isolera de son environnement si menaçant. Cette solution comporte de multiples variantes qui vont de l'intervention légère au décapage complet de la surface du monument.

De ces deux grandes familles d'interventions sortiront les principaux traitements applicables à la sauvegarde des monuments de bronze.

- L'œuvre est retirée de son cadre extérieur et n'est pas remplacée.
- L'œuvre est retirée de son cadre extérieur et remplacée par une copie.

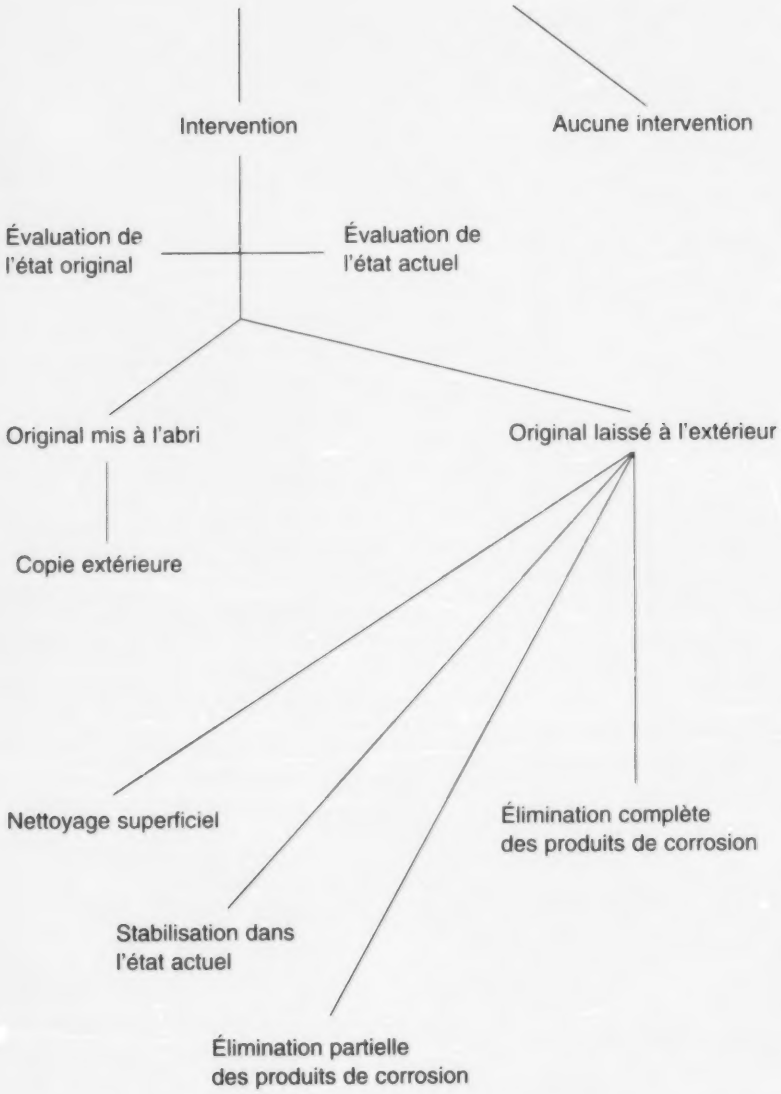
Ces deux mesures seront les moins populaires car elles équivaudront, en un certain sens, à une abdication face à la dégradation des monuments par l'environnement, mais dans certains cas extrêmes, ce choix s'imposera.

Remplacer l'œuvre par une copie ou ne pas la remplacer sera pour certains un geste équivalent car une copie, si fidèle soit-elle, ne sera jamais l'original.

- L'œuvre est laissée à l'extérieur et nettoyée superficiellement.
- L'œuvre est laissée à l'extérieur et stabilisée dans son état actuel.
- L'œuvre est laissée à l'extérieur et débarrassée partiellement des produits de corrosion.
- L'œuvre est laissée à l'extérieur et débarrassée complètement des produits de corrosion.

Ces derniers traitements, qui constituent la seconde catégorie d'interventions, ne peuvent être considérées comme des recettes car, dans le domaine de la conservation, les recettes universelles n'existent pas. Chaque monument est unique et doit être traité comme tel ; les soins spécifiques qui lui seront apportés viendront résoudre des problèmes qui sont tout aussi spécifiques.

Restaurer ou ne pas restaurer



Le vandalisme

Les actes de vandalisme, souvent considérés par leurs auteurs comme des manifestations artistiques spontanées, causent d'importants dommages aux monuments.

Ils prennent des formes très diverses, allant du «Paul aime Marie» inscrit à l'encre indélébile jusqu'à l'épée arrachée, en passant par l'éraflure et les barbouillages de peinture en aérosol.

L'abrasion créée par les escalades répétées des enfants ou par des photographes casse-cou sera suffisante pour mettre le métal à nu et ainsi activer localement le processus de corrosion.

Des éraflures et des traces d'impact viendront fissurer les vernis protecteurs, permettant ainsi l'infiltration d'eau entre le film protecteur et la surface métallique.

Des joints soudés pourront céder sous le poids d'un adolescent suspendu à un bras tendu ou à la trompette d'un angelot.

Pour ces multiples raisons, l'accessibilité à un monument devrait être sérieusement prise en considération lors de l'aménagement des espaces qui l'entourent et limitée par des barrières physiques ou psychologiques (haies d'arbustes, socles, plans d'eau).

Les surfaces couvertes de graffiti devraient être nettoyées sans délai, car très souvent, les actes de vandalisme en attirent d'autres par un processus d'entraînement qui s'établit trop facilement.

Conclusion

La plupart des monuments de bronze du Québec ont été inaugurés au début du siècle. Presque centenaires, survivront-ils à un environnement de plus en plus menaçant ?

Au cours de ces décennies peu, trop peu, de gestes ont été posés pour garantir la sauvegarde de nos monuments. Il est pourtant de la responsabilité même de ceux qui en sont les dépositaires de transmettre aux générations futures, non pas des sculptures affreusement maculées, mais plutôt des œuvres reflétant notre fierté nationale.

L'aspect esthétique des monuments est loin d'être un point négligeable pour les villes qui ont un caractère historique ou une vocation touristique. À l'heure où le tourisme culturel connaît un regain de popularité, protéger les monuments de la corrosion pourrait même s'avérer un investissement tout à fait rentable.

«... Jusqu'au passage des armées alliées, le maire avait commis un employé au nettoyage quotidien de la statue. La nouvelle municipalité négligeait visiblement l'entretien du Condottiere. Perchés sur le fil de l'épée, sur la visière relevée du casque ou entre les oreilles du cheval, les ramiers se soulageaient avec une indicible satisfaction, et il avait suffi d'à peine cinq ans pour que la statue équestre ressemblât à un pic neigeux aux matières blanchâtres dégoulinant de la tête aux pieds...»

Michel Déon
«Je vous écris d'Italie...»

Lexique

Anode

Électrode où se produit l'oxydation chimique, où l'électricité positive quitte l'électrode pour entrer dans l'électrolyte.

Dans les piles galvaniques, l'anode est le pôle négatif.

Cependant, dans le cas d'un générateur d'électricité, l'électrode reliée au pôle positif est aussi appelée anode.

Benzotriazole

Jusqu'à ce jour, le plus efficace inhibiteur de corrosion pour le cuivre et ses alliages (bronze, laiton).

Le benzotriazole, en solution aqueuse, mélangé à un solvant ou incorporé à un enduit, forme sur la surface métallique un film qui fait office «d'imperméable» contre les polluants gazeux et freine le mécanisme de la corrosion.

Cathode

Électrode où se produit la réduction chimique, où le courant positif passe de l'électrolyte à l'électrode.

Dans les piles galvaniques, la cathode est le pôle positif.

Cependant, dans le cas d'un générateur d'électricité, l'électrode reliée au pôle négatif est aussi appelée cathode.

Échelle de Mohs

Échelle établie par Friedrich Mohs en 1822, qui permet de comparer la dureté des minéraux.

Dans cette échelle comparative, la dureté va en croissant de 1 à 10.

1- Talc
2- Gypse
3- Calcite
4- Fluorite
5- Apatite
6- Feldspath
7- Quartz
8- Topaze
9- Corindon
10- Diamant

Électrode

Chacun des conducteurs électriques, généralement par paire et de polarités différentes (un positif, l'autre négatif), immergés dans un électrolyte.

Électrolyte

Solution aqueuse saline ou solution de sels fondus qui permet le passage d'un courant électrique entre deux électrodes.

Étais

Tiges de fer, parfois même de simples clous, qui maintiennent le noyau en place lors des opérations de coulée.

Halogène

Se dit des gaz capables d'engendrer des sels.

Ces gaz, le fluor, le chlore, le brome et l'iode, formeront respectivement des fluorures, des chlorures, des bromures, des iodures.

Hygroscopique

Se dit des substances ou matériaux qui ont tendance à capter l'humidité de l'air.

La présence d'eau sur une surface métallique favorise le mécanisme de la corrosion.

Pile galvanique

Une combinaison de deux conducteurs électriques (électrodes) immergés dans un électrolyte est appelée pile galvanique en l'honneur de Luigi Galvani, un physicien de Bologne (Italie) qui publia des études sur l'électrochimie en 1791.

Une pile galvanique transforme l'énergie chimique en énergie électrique. En court-circuitant une telle pile, le courant positif s'écoule à travers le métal de l'électrode positive jusqu'à l'électrode négative.

Potentiel d'électrode

Toute réaction d'oxydo-réduction peut se subdiviser en deux demi-réactions, où l'une d'elles perd des électrons et où l'autre gagne des électrons.

Un courant électrique peut être mesuré pour chacune de ces demi-réactions selon un potentiel de référence, celui de l'hydrogène établi à 0.

Pyrométallurgie

Procédé métallurgique qui permet de séparer le cuivre du soufre, du fer ou d'autres impuretés.

Ce procédé comporte des variantes : soit la combinaison de fours à réverbère et de convertisseurs, soit le réacteur continu Noranda et des convertisseurs.

Par ce procédé, le soufre transformé en SO_2 est évacué directement dans l'atmosphère.

Radical

Il s'agit d'un ensemble d'atomes indissociables qui se comporte comme un élément dans les réactions chimiques.

SO_4 désigne les sulfates, NO_3 les nitrates, CO_3 les carbonates...

Réduction

Opération par laquelle on élimine l'oxygène de certains minerais (oxydes) afin d'en extraire le métal.

La réduction s'effectue le plus souvent en chauffant le minerai avec du charbon. Ce dernier prend l'oxygène pour former le gaz carbonique de la combustion et laisse le métal en fusion.

$$SnO_2 + C \longrightarrow CO_2 + Sn$$

Références

(1) Magnus *Einfluss der Zusammensetzung der Bronze auf die Bildung von Patina*, in Verhanlung des Veriens zur Befoïderung der Germerbefleisses in Preussen, Berlin, 1864, p. 27.

(2) *Émissions précurseurs des précipitations acides 1980.* Groupe États-Unis - Canada, 3B. Rapport final, juin 1982.

(3) *Sulfur Emission : Control Technology and Waste Management*, U.S., E.P.A., Decision Series E.P.A. (609/9 - 79 - 019), May 1979, p. 3.

(4) Rozenfeld, I.L. *Atmospheric Corrosion of Metals*, N.A.C.E., Houston, Texas, 1972, p. 113.

(5) Amoroso, G. and Fassina, V. *Stone Decay and Conservation.* Amsterdam, 1983, p. 88-90.

(6) Lins, Andrew. *Outdoor Bronzes : Some Basic Metallurgical Considerations* in Sculptural Monuments in an Outdoor Environment, Pennsylvania Academy of Fine Arts, Philadelphia, Penn., U.S.A., 1985, p. 16.

(7) Fiorentino, P. Marabelli, M. Matteini, M. and Moles, A. *The condition of the «Door of Paradise» by L. Ghiberti. Tests and Proposals for Cleaning*, S.I.C., vol. 27, 1982, p. 148.

(8) Weil P.D. *The corrosive deterioration of outdoor bronze sculpture*, in preprints of the contributions to the Washington Congress, 3-9 sept 1982 : Science and Technology in the service of conservation. I.I.C. London, U.K., 1982, p. 132.

(9) Rozenfeld, I.L. *Atmospheric Corrosion of Metals*, N.A.C.E. Houston, Texas, 1972, p. 184.

Bibliographie

AILOR, W.H. *Atmospheric Corrosion.* The Electrochemical Society. Corrosion Monograph Series. John Wiley and Sons. New York, N.Y. U.S.A. 1982.

DRAYMAN-WEISSER, T., Ed. *Dialogue/89 - The Conservation of Bronze Sculpture in the Outdoor Environment : A Dialogue among Conservators, Curators, Environmental Scientists, and Corrosion Engineers.* N.A.C.E. Houston, Texas, USA, 1992.

LEHMANN, J. *Corrosion of Monuments and Antiquities Made of Copper and Copper Alloys in Outdoor Exibits.* ICOM Committee for Conservation 3rd triennial Meeting. Madrid, Spain. 1972.

LEIDHEISER, H. Jr. *The Corrosion of Copper, Tin and their Alloys.* The Electrochemical Society. Corrosion Monograph Series. John Wiley and Sons. New York, N.Y. U.S.A. 1971.

NAUDÉ, Virginia N. ed. *Sculptural Monument in an Outdoor Environment,* Pennsylvania Academy of Fine Arts, Philadelphia, Penn. U.S.A., 1985.

NAUDÉ, Virginia N. and WHARTON, Glenn. *Guide to the Maintenance of Outdoor Sculpture.* A.I.C., Washington D.C, U.S.A., 1993.

RIEDERER, J. *Corrosion Damage on Bronze Sculpture.* ICOM Committee for Conservation 3rd triennial Meeting. Madrid, Spain, 1972.

ROBBIOLA, L. et HURTEL, L.P., *Nouvelle contribution à l'étude des mécanismes de corrosion des bronzes en plein air : caractérisation de l'altération de bronzes de Rodin.* Mémoires et études scientifiques, Revue de métallurgie, Déc. 1991, p. 809-823.

ROBBIOLA, L., FIAUD, C. et PENNEC, S. *New Model of Outdoor Bronze Corrosion and its Implications for Conservation.* ICOM Committee for Conservation 1995, p. 796-802.

ROZENFELD, I.L. *Atmospheric Corrosion of Metals,* N.A.C.E. Houston, Texas, U.S.A. 1972.

SCULLY, John, ed. *Copper Patina Formation.* Corrosion Science Special Issue, vol. 27, # 7, 1987, p. 634-784.

SEASE, Catherine. *Benzotriazole : A Review for Conservators.* Studies in Conservation, vol. 23 (1978) p. 76-85.

SELWYN, L.S., BINNIE, N.E., POITRAS, J., LAVER, M.E. and DOWNHAM, D.A. *Outdoor Bronze Statues : Analysis of Metal and Surface Samples.* Studies in Conservation, vol. 41 (1996) p. 205-228.

SHRAGER, Arthur, M. *Elementary Metallurgy and Metallography.* Dover Publications Inc. New York, N.Y. U.S.A. 1969.

TOMASHOV, N.D. *Theory of Corrosion and Protection of Metals.* Mac Millan Co. New York, N.Y. U.S.A. 1966

UHLIG, H. *The Corrosion Handbook.* John Wiley and Sons. New York, N.Y. U.S.A. 1948.

UHLIG, H. *Corrosion and Corrosion Control.* John Wiley and Sons, New York, N.Y. U.S.A. 1963.

WEIL, P. *A Review of the History and Practice of Patination.* National Bureau of Standards. Special Publication 479. Washington D.C. U.S.A. 1977.

WEIL, P. *The Conservation of Outdoor Bronze Sculpture : A Review of Modern Theory and Practice.* A.I.C. Preprints 1980 Washington D.C. U.S.A. 1980.

WEIL, P. *Maintenance Manual for Outdoor Bronze Sculpture.* Center for Archaeometry. Washington University. St-Louis MO. U.S.A. 1981.

WEIL, P. GASPAR, P. GULBRANSEN, L. and LINDBERG, R. *The Corrosive Deterioration of Outdoor Bronze Sculpture.* I.I.C. 9th International congress. Washington, D.C. U.S.A. 1982.

ZELST, van, L. and LACHEVRE, J.L. *Outdoor Bronze Sculpture : Problems and Procedures of Protective Treatments.* Technology and Conservation 1/83. Technology Organization Inc. Boston, Mass. U.S.A. 1983.